DIE SPEKTREN DER LICHTBOGENAUREOLE

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

VORGELEGT DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

UNIVERSITÄT BASEL

VON

HEINRICH HERTENSTEIN
AUS KYBURG BEI WINTERTHUR

ACAD.
LUGD BAT.
BIBL.

MIT 1 TAFEL

LEIPZIG
JOHANN AMBROSIUS BARTH
1911

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546713_0170

1. Einleitung.

Die vorliegende Arbeit unternahm ich auf Anregung von Prof. A. Hagenbach im Anschluß an seine Publikation „Über Bandenspektra“ (Wüllner, Festschrift 1905). Prof. A. Hagenbach äußerte darin den Wunsch, daß man die Methode, von dem Bogen mittels einer Linse ein Bild auf den Spektrometerspalt zu entwerfen, dazu verwenden möchte, die Bogenflamme von verschiedenen Metallsalzen auf gewisse von ihm schon beobachtete Eigentümlichkeiten hin zu untersuchen. Hagenbach fand nämlich, daß in der Bogenflamme sehr oft Banden in einer Intensität auftreten, die der durch das Knallgasgebläse erzeugten wesentlich überlegen ist; ferner erscheinen in dieser Bogenflamme die Linien der Bogenspektren mit einer gewissen Auswahl.

Um nun über diese Verhältnisse, an die sich noch eine Anzahl Fragen über das Wesen und die Entstehungsbedingungen der Bogenflamme knüpfen, einige Klarheit zu gewinnen, unternahm ich die genaue spektroskopische Untersuchung derselben.

Damit zu keinen Mißverständnissen Anlaß gegeben wird, möchte ich an dieser Stelle den Begriff „Bogenflamme“ näher auseinander setzen. Unter Bogenflamme verstehe ich das Flammengebilde, in welches sich der bei höheren Stromstärken (über 3 Amp.) zwischen vertikalen Elektroden brennende Bogen nach oben hin fortsetzt und das sich vielfach schon der Färbung nach vom inneren Teile des Bogens unterscheidet. Den Ausdruck „Aureole“ werde ich im folgenden identisch mit „Bogenflamme“ gebrauchen, obwohl der Begriff der Aureole von anderer Seite im verschiedensten Sinne angewandt wird.

Die Erzeugung der Bogenflamme gelingt bei großer Stromstärke und hoher Spannung (zur Erhöhung der Stabilität des Bogens) besser. Ich fand eine Netzspannung von 440 Volt bei einer Stromstärke von 6—10 Amp. recht günstig.

Über das Wesen und die Existenzbedingungen der Bogenflamme herrschen zurzeit noch verschiedene Meinungen. Nach der einen kommt sie durch chemische Prozesse zustande, die sich in der Grenzschicht von Gas und Bogen abspielen. Diese Ansicht wird unter anderen von Crookes und Tesla vertreten, auch Stark scheint ihr zuzuneigen.[1])

Eine andere Auffassung der Erscheinung wird u. a. von Lehmann vertreten, der in der Aureole enthaltene Strömungslinien als notwendig für deren Existenz hält.[2] Die Aureole würde nach dieser Auffassung einen Teil des Entladungsgebietes darstellen.

Gegen beide Auffassungen wendet sich eine Arbeit von W. Matthies[3]): „Über das H. Hertzsche Entladungsphänomen und die damit zusammenhängenden Erscheinungen der Aureole des Funken-Glimm- und Bogenstromes.“ Matthies zeigt in dieser Arbeit mittels Sondenversuche, daß in der Aureole weder Strömungslinien noch Potentialgradienten vorhanden sind, daß sie auch durch den Magneten nicht ablenkbar ist. Dies gelte nur für die äußeren Partien derselben, da der Übergang von der Strombahn zur Aureole kein schärfer sei und die der Strombahn am nächsten liegenden Teile schon infolge der starken Ionisation, die in der Aureole herrsche, von Strömungslinien nicht ganz frei sein würden; mit anderen Worten die Dichte der Strömungslinien werde zwar rasch aber doch stetig von innen nach außen abnehmen.

Daß chemische Prozesse nicht die Existenzbedingung der Aureole sein können, schließt Matthies aus dem Umstande, daß Lichtbogenaureolen schon in elementaren Gasen möglich sind.

Dieser Schluß ist nicht zwingend, da auch elementare Gase sich an chemischen Reaktionen beteiligen können. So wies z. B. Arons[4]) die Bildung der Stickstoffverbindungen bei folgenden Metallen nach: Zink, Cadmium, Kupfer, Eisen, Platin, Aluminium, Blei und Magnesium.

Die auf die Lichtbogenaureole bezüglichen Resultate Matthies sind ungefähr folgende: Die Aureole ist eine sekundäre Erscheinung in der Gasmasse, die jede Gasentladung unter geeigneten Bedingungen begleiten kann. Sie wird hervorgerufen durch die in der eigentlichen Strombahn stark ionisierten und aus dieser durch Ex-

pansivkräfte herausgeschleuderten Gaswolken. In diesen Gaswolken findet eine der Ionisierungsstärke entsprechende Rekombination der Ionen bzw. der Elektronen mit den positiven Atomionen statt. Die bei dieser Wiedervereinigung frei werdende Ionenenergie setzt sich zum Teil in Wärme, zum Teil in Lumineszenzstrahlung um. Wie schon erwähnt, ist die Existenz der Aureole nicht an in ihr vorhandene freie Spannungsgefälle und Strömungslinien geknüpft. Es können event. auch chemische Prozesse das Aureolphänomen modifizieren, jedoch stellen sie dann keine Existenzbedingungen desselben dar, sondern sie sind lediglich sekundärer Natur.

Über die Temperatur der Bogenflamme lassen sich keine genauen Angaben machen. Aus gewissen spektroskopischen Resultaten zu schließen, muß in ihr eine Temperatur herrschen, die höher ist als die des Leuchtgassauerstoffgebläses.

An dieser Stelle möchte ich noch der Arbeiten Lenards[5]) Erwähnung tun. Sie stehen mit dem Gegenstande meiner Betrachtung insofern im Zusammenhang, als sie über die Zentren der Lichtemission im Bogen und in der Flamme Aufklärung zu geben suchen. Nach Lenard wird die Hauptserie der Alkalien von neutralen Atomen, die erste, zweite, dritte usw. Nebenserie aber von Ionen ausgesandt, welche ein, zwei, drei usw. Elektronen verloren haben. Als Stütze dieser Theorie führt Lenard u. a. an, daß die Emissionszentren der verschiedenen Serien in der Lichtquelle räumlich getrennt seien. Entwerfe man ein Bild der Flamme oder des Bogens im weit geöffneten Spalt eines Spektroskops, so sehe man jede Spektrallinie in der Form des sie emittierenden Teiles der Lichtquelle. Es lasse sich so erkennen, daß die Serien von ineinander geschachtelten und daher verschieden großen Hohlflammen herrühren.

Auf diese Arbeiten erwiderte Kayser[6]) in einer Abhandlung „Zu den Hypothesen über die Emissionszentren der Serinspektra“ (nach Versuchen von Li Fo Ki), worin er gestützt auf die Versuche von Li Fo Ki die Beobachtung der geschachtelten Hohlflamme nur als einen Temperatur- resp. Intensitätsabfall vom Innern der Flamme (oder des Bogens) nach außen hin auslegt und damit die verschiedene Größe der Bilder nur von der verschiedenen Intensität der Linien herrührend erklärt. Eine zweite Abhandlung Kaysers,[7]) die sich gegen eine Stellungnahme Pucciantis für diese Hypothese richtet, ist nur eine Bestätigung seiner schon einmal darüber geäußerten Ansicht. Wenn Lenards Hypothese nicht nur für die Alkalien gelten soll, so mag ein Resultat der vorliegenden Arbeit,

das ich vorgreifend hier anführen will, in dieser Meinungsverschiedenheit etwas beitragen. Ich fand nämlich in der Bogenflamme, also in der äußersten Zone des Bogens (von Kupfer) die beiden Nebenserien vertreten, was ja nach Lenard nicht gut möglich wäre, da sich die Emissionszentren der Nebenserie erst in den inneren Teilen des Bogens und dazu noch räumlich getrennt finden sollten.

Die spektroskopische Untersuchung der Aureole ist, soviel mir bekannt, bis jetzt noch nicht systematisch unternommen worden. Matthies, dessen Arbeit ich zitierte, stellte eine solche in Aussicht. Der Zweck der vorliegenden Abhandlung ist die spektroskopische Untersuchung der Bogenflamme und der Vergleich der Spektren derselben mit dem Bogen und dem Flammenspektrum. Aus den erhaltenen Resultaten lassen sich vielleicht Schlüsse auf das Wesen, die Entstehungs- und die Existenzbedingungen der Aureole ziehen. Die Arbeit kann nicht auf Vollständigkeit Anspruch erheben, sie möge vielmehr als ein bescheidener Beitrag zur Aufklärung der genannten Verhältnisse angesehen werden.

2. Untersuchungsmethode und Apparate.

Die Untersuchungsmethode, die ich anwandte, bestand darin, daß ich den Bogen resp. die Bogenflamme in natürlicher Größe mit einer Linse von ca. 13,5 cm Brennweite auf den Spalt des Spektrographen projizierte.

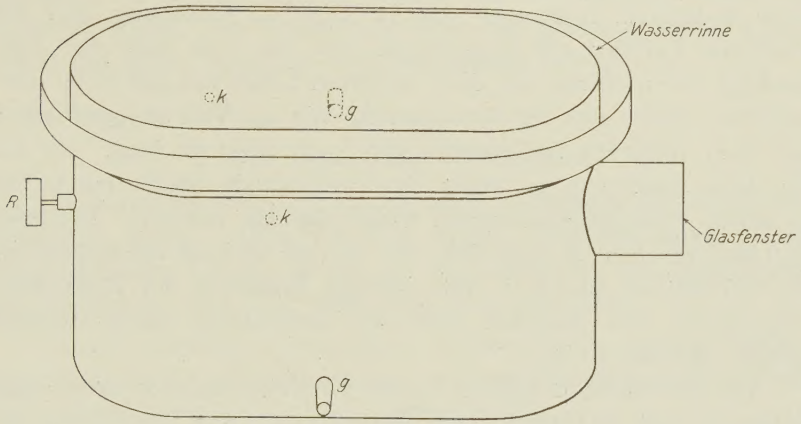
Als Lampe benutzte ich eine gewöhnliche Handregulierlampe.

Der Spektrograph, der mir zur Verfügung stand, war ein mit zwei Flintglasprismen von ca. 60° brechendem Winkel ausgestattetes Spektrometer der Société Genevoise, welches an Stelle des Fernrohres eine Kamera trägt. Die Brennweite des achromatisierten Kollimatorobjektives betrug ca. 32 cm, der Linsendurchmesser 3,4 cm; die Brennweite des achromatisierten Kameraobjektives ca. 38 cm bei einem Linsendurchmesser von 3,4 cm. Um den Einfluß der Randstrahlen zu beseitigen, war zwischen dem Kameraobjektiv und den Prismen eine kreisförmige Blende von 1,4 cm Durchmesser in den Strahlengang geschaltet. Der Spalt konnte durch Kläppchen teilweise oder ganz verdeckt werden. Ich machte von dieser Einrichtung keinen Gebrauch, sondern benutzte kleine Blechstreifen, die von außen, ohne den Spektrographen zu benutzen,vor den Spalt gebracht werden konnten.

Die beiden Prismen waren vor Lichtzutritt von außen sorgfältig durch ein Kartongehäuse und eine Tuchumhüllung geschützt, so

daß voraussichtlich während den einzelnen Aufnahmen und den kurzen Expositionszeiten keine Veränderungen der Lage und der Brechbarkeit und damit eine Verschiebung der Linien eintreten konnten. Es war dieser Punkt von einiger Bedeutung für mich, da ich die Aufnahme der Aureole und des Eisenspektrums (als Vergleichsspektrum) immer nacheinander ausführen mußte. Wie ich mich nachträglich durch eine Anzahl Koinzidenzen überzeugen konnte, hatte sich während der beiden Aufnahmen nichts verschoben.

Für die Untersuchung der Aureole in verschiedenen Gasen bediente ich mich der folgenden Einrichtung. Ein Kasten aus verzinktem Eisenblech von ungefähr 24 cm Höhe, 17,5 cm Breite und 37 cm



g = Gasleitungsrohre k = Stromzuführungen
R = Regulierschraube für die Bogenlampe im Innern des Kastens.

Länge mit vier abgerundeten Kanten (siehe Zeichnung) wurde oben mit einem luftdicht schließenden Deckel versehen, und zwar so, daß um den oberen Rand des Kastens außen eine Wasserrinne lief, so daß der Rand des Deckels einige Zentimeter tief in das Wasser der Rinne zu tauchen kam. An der vorderen Wand des Kastens war ein Ansatzrohr aus Messing mit eingekittetem Fenster angebracht. Auf der einen Seitenwand die Rohre für die Stromzuleitung und das Gasableitungsrohr, auf der anderen Seite das Gaszuleitungsrohr. Durch die hintere Wand führte ich die Regulierschraube der Lampe. Der Inhalt des Kastens betrug ungefähr 12,5 Liter. Das Ganze stand in einem Blechbassin und konnte von oben mit Wasser berieselt werden, um eine zu starke Erwärmung zu verhindern.

Die Füllung geschah in der Weise, daß ich so lange Gas durch den Kasten strömen ließ, bis die notwendige Reinheit anzunehmen war.

Die Aufnahme bei unruhig brennendem Bogen mußte ich oft in der Weise vornehmen, daß ich die Regulierung der Lampe in der einen Hand und die Linse, mittels der ich die Bogenflamme auf den Spalt projizierte, in der anderen Hand behielt, um die gewünschte Partie der Aureole auf dem Spalt zu behalten und den Bogen am „Klettern" zu verhindern. Die Expositionszeit der Aureole war gegenüber der des Bogens gewöhnlich lange, oft über eine Viertelstunde (bei 20—40 Sek. Exposition für den Bogen), selbst bei großer Intensität der Aureole.

Als Stromquelle stand mir eine Akkumulatorenbatterie mit einer maximalen Spannung von 72 Volt zur Verfügung und die städtische Leitung mit Spannungen von 220 Volt oder bei Verbindung des positiven mit dem negativen Leiter von 440 Volt. Gewöhnlich erwies sich die Netzspannung von 440 Volt am günstigsten bei einer mittleren Stromstärke von 4—6 event. 8 Amp. Da ich für diese Spannung zu wenig Drahtwiderstände besaß, mußte ich zu einem Flüssigkeitswiderstand meine Zuflucht nehmen. Dies zog die Unannehmlichkeit nach sich, daß sich im Verlaufe der Exposition die Stromstärke oft um 1 Amp. (infolge Erhitzung der Flüssigkeit) vergrößerte. Die Angaben über die Stromstärke stellen deshalb gewisse Mittelwerte dar.

Die verwendeten Platten waren Perutz-Perorto (Grün- und Rotsiegel) und Wratten und Wainright. Für Aufnahmen im Rot erwiesen sich diese letzteren am besten. Ihre Empfindlichkeit soll bis 7000 Å.-E. reichen, doch ist dafür eine große Intensität der Spektrallinien notwendig. Die günstige Sensibilisierung im Rot scheint im Blau und Violett eine etwas geschwächte Empfindlichkeit zu bedingen.

Als Entwickler diente mir Glycin Hauff mit Pottasche und Natriumsulfit.

Zum Ausmessen der Platten benutzte ich das eigens für diesen Zweck gebaute Meßmikroskop (Firma Otto Töpfer u. Sohn, Potsdam) der hiesigen Anstalt von folgender Konstruktion: an Stelle des Objekttisches und der bei einem gewöhnlichen Mikroskop noch damit verbundenen Einrichtung befindet sich ein Gestell, in welchem eine Mikrometerschraube von ca. 10 cm Länge gelagert ist, welche bei Drehung eine Mutter verschiebt; diese Mutter nimmt dann den Rahmen mit, auf den die zu messende Platte gelegt wird. Unter

dem Rahmen befindet sich der drehbare Spiegel, welcher das Tageslicht durch die Platte reflektiert. Der Mikrometerkopf der Schraube ist in 100 Teile geteilt und erlaubt noch die Schätzung eines Zehntel. Die Ganghöhe der Schraube beträgt 0,5 mm, der Meßbereich 8 cm. Die Vergrößerung des Mikroskops ist 20fach. Nimmt man bei der Ablesung eine Genauigkeit von $^2/_{10}$ Teilstrich als erreichbar an, so kann $^1/_{1000}$ mm mit der Vorrichtung noch abgelesen werden.

Zur Einstellung auf die einzelnen Linien dient ein stehendes Fadenkreuz mit einem Winkel von ca. 35° zwischen den Fäden.

Die Spektren wurden je nach ihrer Schärfe 3—5mal durchgemessen und aus den Ablesungen das arithmetische Mittel genommen. Unscharfe Kanten wurden vor der Messung unter der Lupe punktiert. Die Aufnahmen waren bei schräg gestellter Platte durch das ganze Spektrum von brauchbarer Schärfe.

3. Die Ausmessung der Spektren.

In dem Eisenspektrum, das bei allen Aufnahmen als Vergleichsspektrum diente, wählte ich eine Anzahl besonders scharfer und ausgezeichneter Linien, ca. 30—40, und markierte sie; dann wurde das Spektrum unter dem Mikroskop durchgemessen.

Durch graphische Interpolation bestimmte ich zunächst die erforderliche Zahl von Eisennormalen und zwischen diesen interpolierte ich auf die gewünschten Linien oder Kanten.

Der Maßstab, in dem ich die Wellenlängen und Ablesungen auftrug, war so, daß 1 Å.-E. = 1 cm und 10 Trommelteile = 1 cm darstellten. Bei diesem Maßstabe konnte dann die Genauigkeit der mikroskopischen Ablesung noch eben ausgenutzt werden. Denn $^1/_5$ Trommelteil entsprechend $^1/_5$ mm kann mit einiger Sicherheit noch aufgetragen werden.

Diese Vermessungsmethode war ziemlich mühsam, da die Intervalle so kurz wie möglich gewählt werden mußten, um noch lineare Interpolation zu gestatten. Den Versuch, eine Korrektionsformel anzuwenden unter der Annahme, daß die Verbindungslinie der beiden Punkte, zwischen denen interpoliert wird, ein Teil eines Kreisbogens bildet, gab ich als zu zeitraubend auf. Schließlich bestimmte mich auch der Umstand, daß die Länge der Spektralbezirke gegen Rot zu stark abnimmt und so die Genauigkeit der Ablesungen verringert, diesen Punkt nicht mehr als nötig zu beachten.

Die Länge der einzelnen Bezirke auf den Photographien sei im folgenden kurz angegeben:

Orange	6403—6060	ca. 3 mm	1 mm = 114 A.-E.
	6046—5890	ca. 1,5 mm	1 mm = 100 „
Gelb	5890—5615	ca. 3 mm	1 mm = 90 „
	5615—5270	ca. 4,8 mm	1 mm = 72 „
Grün	5270—5005	ca. 4,5 mm	1 mm = 59 „
	5005—4737	ca. 5,7 mm	1 mm = 47 „
Blau	4737—4495	ca. 6,3 mm	1 mm = 38 „
Indigo	4495—4282	ca. 7 mm	1 mm = 30 „
Violett	4282—4127	ca. 6,3 mm	1 mm = 25 „
	4127—4045	ca. 3,7 mm	1 mm = 22 „
	4045—3920	ca. 6,5 mm	1 mm = 20 „
Ultraviolett	3920—3813	ca. 6,5 mm	1 mm = 16 „
	3813—3728	ca. 6 mm	1 mm = 14 „
	3728—3680	ca. 3,8 mm	1 mm = 13 „
	3680—3609	ca. 6,3 mm	1 mm = 11 „

Wie schon aus der Tabelle ersichtlich ist, beträgt die Entfernung der beiden Natriumlinien nicht ganz $^1/_{15}$ mm. (Die Bezeichnung der Spektralbezirke nach Farben hält sich an die Listingsche Skala). Die Ausdehnung des ganzen Spektrums von der Wellenlänge 6381 bis zur Wellenlänge 3609 beträgt ca. 75,5 mm. Als Vergleich dazu mag dienen, daß in den Aufnahmen mit dem großen Konkavgitter von 6,6 m Rad. des Bonner Institutes auf 1 mm der Platte 2,56 Å.-E. kommen, während in der Aufnahme mit dem kleinen Konkavgitter desselben Institutes auf 1 mm 16,8 Å.-E. kommen.

Die Messungsgenauigkeit, die ich erreichen konnte, betrug im Orange 2 Å.-E., im Blau 0,2 Å.-E. Wenn die Fehlergrenzen bei der Vermessung des prismatischen Spektrums so große sind, so ist es nicht zum kleinsten Teil dem Umstand zuzuschreiben, daß die Interpolationen um so ungünstiger werden, je mehr man sich dem Rot nähert, durch den Mangel an passenden Eisennormalen.

Die Eisennormalen entnahm ich dem Wattschen Index of spectra.[8])

Aus praktischen Gründen war ich gezwungen, die Vergleichsaufnahme mit dem Eisenspektrum nach der Aufnahme des Bogens auszuführen und dabei durch geeignet angebrachte Blenden (Blechstreifen) den entsprechenden Spaltteil zu verdecken. Auf eine Platte

gelangten in der Regel drei Aufnahmen: der innere Bogen, die Aureole und das Eisenspektrum oder das Flammenspektrum. Bei den Aufnahmen des Kohlebogens mit Substanz unterließ ich es nie, den Kohlebogen und die Aureole des Kohlebogens aufzunehmen, bevor ich die Kohlen mit Substanz beschickte, denn nur so konnte ich einigermaßen eine Kontrolle über das gewinnen, was durch die eingeführte Substanz Neues im Spektrum hinzutrat.

Vor jeder Serie von Aufnahmen mit Kohleelektroden ließ ich den Bogen längere Zeit zwischen den Elektroden brennen, um die Spitzen derselben etwas von den Verunreinigungen zu befreien.

Die Kohlen, die mir zur Verfügung standen,[9]) waren von ausgezeichneter Reinheit (soweit man dies von Elektrodenkohlen überhaupt sagen kann); die Verunreinigungen traten, wie aus den Aufnahmen ersichtlich ist, bei Beschickung mit Substanz sehr stark zurück.

Das Einbringen der Substanz in den Bogen führte ich so aus, daß ich die Kohle mit einer Bohrung versah und in diese die Substanz einpreßte. Versuche, die Substanz auf Kohlestäbchen in den Bogen zu bringen, mißlangen. Ebenso führten Versuche, die Substanz anstatt in Kohleelektroden in Metallelektroden (natürlich von demselben Metall, das sich in der Substanz befand) zu bringen, nicht zum Ziele wegen der zu niedrigen Verdampfungstemperatur der Metalle.

Die Metalle, deren Aureolenspektrum ich untersuchte, waren folgende: Kupfer, Zinn, Blei, Zink, Cadmium, Aluminum und Eisen. Die Salze, von denen ich ein Aureolenspektrum zu erlangen trachtete, folgende: Kupferchlorid, Kupferchlorür, Kupferbromid und Kupferfluorid, ferner Zinnchlorid, -bromid und -jodid, Silberchlorid, Bleichlorid, -bromid, -jodid und -fluorid und Dikaliumdichromat.

Von den Metallen mußte ich das Blei, Zink, Cadmium und Aluminium zuerst noch in geeignete Elektrodenform gießen.

Bei einzelnen Metallen, wie z. B. bei Blei, Zink, Cadmium war es ziemlich schwer eine Aureole zu erhalten; die Metalle schmolzen fortwährend ab, obwohl ich sie in ziemlich dicken Elektroden anwandte. Das Aluminium hat die unangenehme Eigenschaft, sich nach dem Erlöschen des Bogens mit einer dichten, nichtleitenden Oxydhaut zu überziehen und so dem Durchgang des Stromes einen enormen Widerstand entgegenzusetzen. Der Bogen konnte dann nur wieder entzündet werden, nachdem diese Oxydhaut abgefeilt worden war.

Bei Eisen und Kupfer erfolgt die Bildung der Aureole sehr leicht bei Anwendung genügender Spannung; selbst in Kohlensäure und verdünntem Sauerstoff brennen diese Bogen noch recht gut.

Bei Kupfer fand ich noch eine gewisse Merkwürdigkeit, indem nämlich beim Einleiten von Sauerstoff in die Luftatmosphäre — diese Untersuchung wurde im Blechkasten gemacht — die Stromstärke etwas abnahm, während eigentlich infolge einer intensiveren Oxydation des Kupfers und damit einem intensiveren Materialtransport eine Erhöhung der Stromstärke zu erwarten wäre. Eine ähnliche Beobachtung wurde schon von King gemacht. Eine Erscheinung ebenfalls von nebensächlichem Charakter ist die Bildung von Stickoxyd resp. Stickdioxyd, die mir bei Kupferelektroden in stärkerem Maße als bei anderen auffiel. Wenigstens glaubte ich dies dem Geruch nach zu bemerken.

4. Das Bogenflammenspektrum des Kupfers.

Eine Untersuchung über die Bogenflamme dieses Metalls konnte ich bis jetzt in der Literatur nicht finden. Wie jedoch ein Vergleich mit dem Flammenspektrum von Hartley und der Aufnahme des Kupferbogens in dem Atlas der Emissionsspektra von Hagenbach und Konen zeigt, sind eine Anzahl Banden schon in bekannten Aufnahmen.

Die Aufnahme, deren Vermessung ich gebe, ist mit Wratten- und Wainright-Platten gemacht. Ich projizierte den Teil der Aureole, der in der Nähe der negativen Elektrode sich befand, auf den Spalt. Die Netzspannung betrug 220 Volt, die Stromstärke ca. 5,5 Amp. Die Exposition der Bogenflamme dauerte 15 Minuten.

Die Abschattierung der gefundenen Banden ist vorwiegend nach Rot.

λ	J	
4005	1	Beginn einer nach Rot laufenden Bande
4022,83	3	Kupferlinie
4062,94	5	Kupferlinie
4182,4	3	
4226,6	4	wahrscheinlich Kadmiumlinie
4275,32	3	Kupferlinie
4280	4	Beginn einer nach Rot laufenden Bande

(Fortsetzung.)

λ	I	
4452,5	8	Kante einer nach Rot laufenden Bande
4457,3	8	
4464,3	7	
4476,2	4	
4480,59	2	Kupferlinie
4511,3	4	
4518,4	5	diffuse Bande mit 4 Linien
4525,4	5	
4531,0		Kupferlinie
4531,7	6	
4563,8	4	kurze nach Rot absch. Bande od. einseitig verbreiterte Linie
4584,3	6	kurze nach Rot absch. Bande od. einseitig verbreiterte Linie
4606,9	6	Linie ganz schwach nach Rot verbreitert
4620,9	4	Linie ganz schwach nach Rot verbreitert
4636,6	6	nach Rot abschattierte Bande
4651,2	3	Linie in dieser Bande, ganz unscharf
4678,4	4	Cadmiumlinie
4688,2	5	bilden scheinbar die Begrenzung einer kurzen Bande
4697,2	5	
4712,1	7	Kante einer nach Rot abschattierten kurzen Bande
4720,8	7	
4733,4	4	scheinbar nach Blau verbreiterte Linie
4737,4	5	
4771,1	6	1. Kante einer nach Rot laufenden Bande
4789,6	4	2. Kante derselben Bande, sehr unscharf
4828,6	4	1. Kante einer nach Rot abschattierten Bande
4836,8	4	2. Kante
4844,7	1	3. Kante
4854,3	5	1. Kante einer nach Rot abschattierten Bande
4863,7	5	2. Kante
4873	2	3. Kante
4884	5	1. Kante einer nach Rot abschattierten Bande
4894,7	3	2. Kante
4904,1	1	3. Kante
4917,15	5	Kante einer nach Rot abschattierten Bande
4996,6	1	Linie
5010	1	diffuse Bande oder Linie
5031,7	1	Linie
5038,6	1	Kante einer nach Rot absch. kurzen Bande, sehr schwach
5071,2	2	Kante einer nach Rot abschattierten Bande
5105,75	10	Kupferlinie
5153,33	4	Kupferlinie
5218,45	5	Kupferlinie
5237	5	kurze nach Blau abschattierte Bande
5241,6	5	kurze nach Rot abschattierte Bande
5284	3	Intensitätsmaximum einer diffusen Bande
5313	5	Linie
5347	4	Kante ein. nach Rot absch. Bande (od. einseitig verbr. Linie)
5390	6	Intensitätsmaximum einer einseitig nach Rot verbr. Linie
5470	3	Intensitätsmaximum einer einseitig nach Rot verbr. Linie
5531	5	1. Kante einer nach Rot abschattierten Bande
5556,6	3	2. Kante
5700,39	8	Kupferlinie
5782,36	10	Kupferlinie
5850	5	Intensitätsmaximum einer nach Rot absch. diff. Bande

(Fortsetzung.)

λ	I	
5890,19	6	
5896,16	4	
5950	5	Intensitätsmax. einer nach Rot absch. diff. Bande
6046,2	9	1. Kante einer nach Rot absch. Bande, einem Auftakt vergl.
6060,5	9	2. Kante
6148,3	10	1. Kante, einem Auftakt vergleichbar
6162,8	10	2. Kante einer nach Rot absch. Bande
6282,8	1	1. Kante } gebaut wie die vorhergehenden
6296,5	8	2. Kante }
6380,9	8	
6403,5	2	
		1. Kante (nicht vermeßbar)
6547,4	2	2. Kante der nach Rot absch. Bande

Wie man aus der Aufnahme entnehmen kann, gehen von der Bandenkante 4005 eine Anzahl Linien aus, die jedoch für eine Vermessung zu schwach sind. Hingegen lassen sich die von der Bandenkante 4280 ausgehenden Linien mit einiger Sicherheit vermessen. Sie seien in der folgenden Tabelle wiedergegeben; gleichzeitig gebe ich die Vermessung der Hartleyschen Bande 4280 zum Vergleiche an.

Von mir gemessene Wellenlängen λ	Vermessung der Flammenbande 4280 durch Lanzrath			
	I. Kante 4279,87		II. Kante 4327,85	
	1. Serie	2. Serie	1. Serie	2. Serie
4280,1	4279,87	4279,87		
	4280,11	4280,36		
	4280,82	4281,24		
4282,4	4281,92	4282,56		
4283,7	4283,42	4284,22		
4285,7	4285,36	4286,27		
4288,01	4287,66			
4290,50	4290,39	4291,64		
4293,73	4293,50			
4294,40		4294,98		
4317,31		4317,22		
4320,90	4320,77			
4322,70		4322,84	[4327,85]	
4325,92	4326,71		[4328,29]	
4328,84		4328,86	[4328,86]	
4333,06	4333,12		[4330,45]	
4335,20		4335,29	[4332,24]	
4339,60	4339,90			
4342,09		4342,08		
4347,12	4347,12		4339,90	
4349,28		4349,25	[4343,34]	
4354,28	4354,69		[4347,12]	

(Fortsetzung.)

Von mir gemessene Wellenlängen λ	Vermessung der Flammenbande 4280 durch Lanzrath			
	I. Kante 4279,87		II Kante 4327,85	
	1. Serie	2. Serie	1. Serie	2. Serie
			4351,50	
4356,95		4356,81	4356,11	4356,20
4363,04			4361,18	
4364,86		4364,77	4360,81	7364,78
4370,84				4370,47
4373,15			4379,21	
4375,92				4376,53
4381,68		4381,81		4383,14
4390,98		4390,89		4390,02
4397,32				4397,27
4400,51		4400,35		4404,91
4409,87		4410,19		
4412,43				4413,11

In dem Spektrum der Aureole sind folgende Kupferlinien vorhanden: 4022,83; 4062,94; 4275,32; 4480,59; 4531,0; 5105,75; 5153,33; 5218,45; 5700,39; 5782,30.

Davon würden nach Kayser und Runge die Linien: 5218,45; 5153,33; 4062,94 und 4022,83 zur ersten Nebenserie zu zählen sein; von der zweiten Nebenserie wären nur die Glieder 4531,0 und 4480 vorhanden. Das Paar 5782,30; 5700,39 kann zu keiner Nebenserie gezählt werden.

Es erschienen also von den Gliedern der ersten Nebenserie jeweilen nur die intensivsten, wie dies aus der Tabelle, die Kayser in seiner Spektroskopie[10]) angibt, hervorgehen mag.

(ur bedeutet unscharf nach Rot; uR bedeutet unscharf und umgekehrt.)

λ im Bogen	Intensität	λ in der Aureole	Intensität
5220,25	6 ur		
5218,45	10 ur	5218,45	9
5153,33	8 ur	5153,33	8
4063,50	2 uR		
4062,94	8 uR	4062,94	9
4022,83	8 uR	4022,83	8
3688,6	3 u		
3654,6	3 u		

Für die Glieder der zweiten Nebenserie gibt Kayser folgende Tabelle:

λ im Bogen	Intensität	λ in der Aureole	Intensität
4531,04	7 u	4531,0	2
4480,59	7 u	4480,59	2
3861,88	3		
3825,13	2		

Auch hier wieder treten nur die intensivsten Linien auf. Natürlich sind auch die beiden Linien 4062,94 und 4022,83, die von Kayser mit R (reversed) bezeichnet sind, auf meiner Aufnahme nicht mehr als umgekehrt zu erkennen.

Von den zehn gemessenen Kupferlinien in der Aureole gehören vier der ersten Nebenserie, zwei der zweiten Nebenserie an und zwei Linien: 5782,3 und 5700,39 weisen mit einem Paar, das im Ultravioletten liegt (auf der Aufnahme aber nicht mehr vorliegt), 3274,06 und 3247,65 die Gesetzmäßigkeit der gleichen Schwingungsdifferenz auf.[11])

Nur zwei der gemessenen Linien unterliegen keinen Gesetzmäßigkeiten. Man könnte hier vielleicht auf den Gedanken geführt werden, es möchte eine andere Auswahl der Linien in der Aureole als nur die der Intensität nach stattfinden, etwa eine Auswahl nach Serien und Nichtserienlinien. Ein Vergleich der gemessenen Linien mit den Linien im Bogenspektrum mit der Intensität 8, 9 und 10 (Linien geringerer Intensität als 8 konnte ich in meiner Aufnahme nicht mehr erkennen) drückt diese Wahrscheinlichkeit beträchtlich herab. Ich gebe in der vorliegenden Tabelle alle Linien des Bogenspektrums mit einer Intensität von mindestens 8 an (nach Kayser und Runge),[12]) die in dem betrachteten Bereich liegen, und gebe gleichzeitig an 1. die gemessenen, 2. diejenigen, die bei okularer Betrachtung wahrnehmbar sind, ihrer zu geringen Intensität und Schärfe wegen aber nicht gemessen werden konnten und 3. diejenigen, die ich selbst bei ganz genauer okularer Untersuchung nicht entdecken konnte.

λ	I	
5782,30	8	gemessen
5700,39	8	gemessen
5218,45	10 R	gemessen
5153,33	8 R	gemessen
5105,75	8 R	gemessen
4704,77	8	nicht wahrnehmbar
4651,31	8	wahrnehmbar

(Fortsetzung.)

λ	I	
4587,19	10	unsicher, ob vorhanden, weil von ein. Bande etwas verdeckt
4539,98	8 R	nicht wahrnehmbar
4531,04	8 R	gemessen
4480,59	8 R	gemessen
4378,40	8 R	nicht wahrnehmbar
4275,32	8 R	gemessen
4022,83	10 r	gemessen

Es sind nach dieser Tabelle nur drei Bogenlinien mit der Intensität 8 mit Sicherheit nicht vorhanden und die Wahrscheinlichkeit, daß das Vorkommen der Bogenlinien in der Aureole an die Intensität derselben und nicht an andere noch unbekannte Gesetzmäßigkeiten gebunden ist, erscheint ziemlich groß.

Außer diesen Bogenlinien finden sich noch zwei Banden mit den Kanten 4005 und 4280; von diesen läßt nur 4280 eine nähere Vermessung zu, während 4005 zu schwach ist. Ich erhielt keine Aufnahmen der Aureole, die eine Vermessung der Bande 4005 zugelassen hätten, hingegen zeigt eine Reihe die beiden Banden überhaupt nicht. Ich kann dabei keinem anderen Umstand als der hohen Stromstärke (über 10 Amp.), die ich anwandte, die Schuld geben.

Die beiden Banden wurden mit noch drei anderen wohl zum erstenmal von Hartley u. Ramage in einer Abhandlung „Banded flame-spectra of metals[13]) ausführlich publiziert und die Kanten gemessen.

Dieselben sind:

λ		
4689	starke	Bande
4649	„	„
4280	sehr „	„
4005	„	„
3777	schwache	„

Die Banden schreibt Hartley dem Kupfer selbst zu und nicht einem Oxyd, da er die Analogie zwischen den Flammenspektren des Silbers, des Goldes und des Kupfers für zu überzeugend hält. Dieser Ansicht neigte auch Kayser zu und nennt es Kupferbandenspektrum.

In einer früheren Abhandlung „Flame-spectra at High Temperatures“[14]) stellt Hartley fest, daß das Bandenspektrum des Silbers und des Goldes wirklich dem Metall angehören: „since no oxides

of these metals can exist at the temperature of the flame employed". Hartley hat in der zuerst genannten Abhandlung 1901 sehr schöne Photographien dieser und noch einer ganzen Anzahl anderer Metallbandenspektren veröffentlicht.

Eine genauere Vermessung der Banden 4280 und 4005 sowie die Untersuchung der Struktur wurde von Lanzrath [15]) vorgenommen. Mit dieser Vermessung habe ich meine verglichen.

Außer diesen beiden sind zahlreiche kurze Banden über das Spektrum regellos zerstreut (ob sie auflösbar sind, kann ich wegen der zu geringen Dispersion meines Apparates nicht entscheiden). Im Orange treten fünf schöne regelmäßige Banden mit je zwei Kanten auf (die erste Kante jeder Bande hat das Aussehen einer schwach nach Rot verbreiterten Linie), doch ist es nicht unmöglich, daß mit besser sensibilisierten Platten und bei noch längerer Exposition einige mehr sich ergeben.

Das Charakteristische für das ganze Spektrum der Aureole ist, daß sämtliche Banden nach Rot abschattiert sind.

Die Banden im Orange 6060,5 und 6162,8 finden sich schon im Atlas von Hagenbach und Konen und in den „Spectres lumineux von Lecoq de Boisbaudran.

Die Kupferbogenflamme in Kohlensäure.

Um den Einfluß der Atmosphäre festzustellen, brannte ich den Bogen mittels der am Anfang beschriebenen Vorrichtung in Kohlensäure. Ich wählte eine Expositionszeit von 15 Minuten für die Bogenflamme (die Netzspannung betrug 220 Volt, die Stromstärke 9,5 Amp.). Durch das unruhige Brennen kam der Bogen einigemale selbst auf den Spalt, deshalb finden sich auch die intensivsten Kupferbogenlinien in der Aureole wieder. Außer diesen Linien sind noch die meisten Banden der Aufnahme in Luft vorhanden. Von den Hartleyschen Banden tritt nur 4280 auf.

Der einzige Unterschied gegenüber der Aufnahme der Aureole in Luft besteht darin, daß die Intensität dieses Bandenspektrums eine viel geringere ist (obwohl die Stromstärke bei dieser Aufnahme größer ist als bei der letzten). Ein Unterschied nebensächlicher Art zwischen dem Bogen und der Aureole in Kohlensäure ist noch der, daß im Bogen fast die sämtlichen Kohlebanden (mit Ausnahme von 6187) und Cyanbanden auftreten, während in der Aureole nur die Cyanbanden 3883 und 4216 (ganz schwach wahrzunehmen sind.

Aus der Untersuchung in Kohlensäure resultiert offenbar nur, daß durch die Kohlensäure die Intensität der Banden geschwächt wird.

Die Kupferbogenflamme in sauerstoffreicherer Luft.

Das Gegenteil davon bewirkte eine Atmosphäre von Luft mit Sauerstoff gemischt (zu gleichen Teilen). Bei einer Expositionszeit von 2 Min. und 7 Amp. Stromstärke erhielt ich in diesem Gasgemisch eine Aufnahme, die fast alle Details der Aufnahme in gewöhnlicher Luft bei 15 Min. Expositionszeit und 5,5 Amp. aufwies. Die Vergleichsaufnahme mit 2 Min. Expositionszeit und 7 Amp. in gewöhnlicher Luft ergab fast nichts.

Der Bogen brannte, wie schon früher beobachtet wurde, in Sauerstoff ziemlich schwierig und zeigte die Tendenz auszugehen.

Daß beim Kupferbogen ein Sinken der Stromstärke eintritt, wenn Sauerstoff zugeführt wird, habe ich schon erwähnt, ich glaube dies könnte mit einer Äußerung Kings in Einklang stehen, der zu dem schwierigen Brennen des Kupferbogens in Sauerstoff die Bemerkung macht: „this action may be due to the formation of a non conducting coating of copper oxide on the terminal though it is doubtful if this forms in the arc itself.“ [16])

An dieser Stelle möchte ich noch einen Vergleich der Intensität der Kupferbogenlinien in der Aureole im Sauerstoff-Luftgemenge mit der Intensität der Linien im Bogen geben.

	λ im Bogen	I	Aureole (in Sauerstoff mit Luft) I
P	5782,30	8	9
P	5700,39	8	3,5
I N I, 4	5218,45	10 R	3
I N I, 4	5153,33	8 R	2
	5105,75	8 R	10
	4704,77	8	3
	4697,62	4 U	1
	4651,31	8	7
	4587,19	10 U	5,5
	4539,98	8 R	4
II N I, 4	4531,04	6 U	6
	4507,62	8 R	5
II N II, 4	4480,59	8 R	2
	4378,40	8 R	2,5
	4275,32	8 R	7
I N I, 5	4062,94	10 r	7 r (6,5 r)
I N II, 5	4022,83	10 r	6 (5)

Die mit P bezeichneten Linien bilden Paare, die gleiche Schwingungsdifferenz haben wie die Paare der Linien.

I N I, 4; II N I, 4 usw. bedeutet erste Nebenserie, viertes Glied der ersten Linienserie; zweite Nebenserie, viertes Glied der ersten Linienserie usw.[17])

Wie aus der Tabelle hervorgehen könnte, sind die Serienlinien im allgemeinen stärker geschwächt als die Nichtserienlinien. Das Paar 5782, 5700 zeigt einen auffallenden Intensitätsunterschied, ebenso die drei Linien 5216, 5153 und 5105.

Über die Intensitätsänderungen der Linien des Kupferbogens in Sauerstoff hat King (l. c.) Untersuchungen veröffentlicht. Ich gebe davon in folgendem soviel, als es der Vergleich benötigt — die Untersuchungen Kings erstrecken sich noch ziemlich ins Ultraviolette hinein (bis ungefähr 3000), während das Spektrum meiner Prismenkombination nur bis ca. 3500 reicht. King findet, daß die Linien 4651,31; 4587,19; 4378,4 gar nicht affiziert werden durch die Sauerstoffatmosphäre, während die Linien 5218,45; 5153,33; 5105,75; 4531,04; 4480,59; 4062,94; 4056,80; 4022,83 sehr stark an Intensität einbüßen.

Ein Vergleich mit den über die Aureole erhaltenen Resultaten zeigt, daß Linie 4651,31 fast gar nicht, 4587,19 viel mehr und 4378,4 ganz bedeutend an Intensität verliert. Ferner weisen die Linien 5218,45; 5153,33; 4531,04; 4480,59; 4062,94 eine verminderte Intensität auf, einige sogar sehr auffallend, nicht aber die Linie 5105,75, welche die intensivste der sämtlichen Kupferlinien in der Aureole darstellt. Wie ich schon vorher bemerkte, erleiden die Serienlinien eine ziemliche Abschwächung durch den Sauerstoff, eine Beobachtung, auf die auch King in seiner Abhandlung aufmerksam macht.

Zusammenfassung.

Das Spektrum der Aureole besteht aus einer Anzahl nach Rot laufender Banden. Die Banden 4005 und 4279 gehören dem von Hartley so benannten Kupferbandenspektrum an. Die kurzen in meinen Aufnahmen nicht aufgelösten Banden zeigen nur im Orange eine gesetzmäßige Lagerung. Das Spektrum des Bogens erstreckt sich augenscheinlich weiter ins Gebiet der kürzeren Wellenlängen als das der Bogenflamme, hingegen weniger weit ins Rote. Daraus schließe ich, daß die Temperatur des Bogens höher sein muß als

die der Aureole. Die in der Aureole auftretenden Kupferlinien sind zugleich die intensivsten Bogenlinien. Der Sauerstoff scheint eine gewisse Änderung der Intensitätsverhältnisse dieser Linien zu bewirken, die zum Teil darin besteht, daß die von Kayser und Runge als Linien der I. und II. Nebenserie bezeichneten stärker als andere an Intensität einbüßen.

Die Bogenflamme der Kupferhalogenverbindungen.

Nach dieser ersten Feststellung der spektroskopischen Verhältnisse der Kupferbogenflamme durfte die Untersuchung der Aureole der Kupferhalogenverbindungen ein gewisses Interesse beanspruchen, um so mehr als die Flammenspektren dieser Verbindungen schon recht gut bekannt und vermessen sind. Auch konnten zwischen diesen Verbindungen analog deren Flammenspektren am ehesten Gesetzmäßigkeiten erwartet werden.

Um die Halogenverbindung in den Bogen zu bringen, verfuhr ich in der schon beschriebenen Weise, daß ich Kupferelektroden später auch Kohleelektroden mit Bohrungen versah und die Substanz in pulverisiertem Zustand in diese preßte.

Die erste Aufnahme wurde von dem zwischen Kupferelektroden brennenden Bogen gemacht. Das Kupferchlorid befand sich in der positiven Elektrode, die Netzspannung betrug 220 Volt, die Stromstärke 4,5 Amp. Die Aureole wurde ca. 10 Min. exponiert.

In der Aufnahme fanden sich folgende Linien und Banden:

λ	I	
4022,83	6	} Kupferlinien
4056,8	4	
4062,94	7	
4182,4	2	ur
4200	2	Intensitätsmaximum einer diffusen Bande
4226,6	3	
4235	1	Intensitässmaximum einer diffusen Bande
4259	3	Kante einer nach Rot abschattierten Bande
4275,32	4	Kupferlinie
4280	2	} Linien einer diffusen Bande
4286	3	
4291	2	
4296,5	2	
4333,6	5	Kante einer nach Rot abschattierten Bande
4354,2	7	Kante einer nach Rot abschattierten Bande
4412,5	5	unscharfe Kante einer nach Rot abschattierten Bande
4434,5	5	ganz unscharfe Kante einer nach Rot abschattierten Bande
4452	4	Kante einer nach Rot abschattierten Bande

(Fortsetzung.)

λ	I	
4457	4	
4463,6	2	
4480,59	1	Kupferlinie
4495	4	Kante einer nach Rot abschattierten Bande
4512,2	1	schwache diffuse Bande
4517,8	1	
4525	1	
4531,04	3	Kupferlinien
4539,98	1	
4587,19	5	ganz diffuse Kupferlinie (oder $CuCl_2$-Bande)
4606,9	3	u
4620,9	3	u
4636,6	4	Kante einer nach Rot abschattierten Bande
4651,2	5,5	Kupferlinie
4678,0	2	Cadmiumlinie
4688,2	4	bilden scheinbar die Begrenzung einer Bande
4697,2	4	
4704,77	1	Kupferlinie
4712	5	Kante einer kurzen nach Rot abschattierten Bande
4715	5,5	Linie dieser Bande
4720,8	4	Linie dieser Bande
4733,4	3	scheinbar nach Blau verbreiterte Linie
4737,4	4	Linie
4771,1	5	Kante einer nach Rot abschattierten Bande
4828,6	3	1. Kante einer nach Rot abschattierten Bande
4836,8	3	2. Kante
4844,7	2	3. Kante
4854,3	4	1. Kante einer nach Rot abschattierten Bande
4863,7	4	2. Kante
4873	2	3. Kante
4884	5	1. Kante einer nach Rot abschattierten Bande
4894,7	3	2. Kante
4904,1	1	3. Kante
4917,2	4	Kante einer nach Rot abschattierten Bande
5105,75	10	Kupferlinie
5153,33	3	Kupferlinie
5218,45	3	Kupferlinie
5700,39	3	Kupferlinie
5782,30	9	Kupferlinie
5890,19	2	
5896,16	1	
6046,2	2	1. Kante der nach Rot abschattierten Bande
6060,5	4	2. Kante der nach Rot abschattierten Bande
6158,3	4	1. Kante der nach Rot abschattierten Bande
6162,8	6	2. Kante der nach Rot abschattierten Bande

Die Vermessung einer zweiten Aufnahme der Aureole (bei Anwendung von Kohleelektroden) sei in der nächsten Tabelle wiedergegeben. (Das Kupferchlorid befand sich in der positiven Elektrode, die Netzspannung betrug 220 Volt, die Stromstärke 5,5 Amp., die Exposition dauerte 15 Min.).

Eine Vergleichsaufnahme der Kohlebogenaureole (mit 5 Min.

Expositionszeit) ohne Kupferchlorid ergibt eine größere Anzahl Eisenlinien von geringer Intensität, die meisten Borbanden und schwache Banden unbekannter Herkunft (wahrscheinlich Calcium- oder Calciumfluoridbanden).

In der Aufnahme mit Kupferchlorid wurde die Intensität dieser Verunreinigungen, wie aus der Photographie hervorgehen mag, ganz außerordentlich herabgedrückt, so daß sie bei der Vermessung kaum mehr störend empfunden wurden.

λ	I	
4125	2	Beginn einer ganz diffusen Bande
4135	4	Intensitätsmaximum derselben
4160	1	Beginn einer ganz diffusen Bande
4188	2	Beginn einer diffusen Bande
4195	6	Intensitätsmaximum derselben
4218	2	Beginn einer diffusen Bande
4230	4	Intensitätsmaximum derselben
4259,8	6	Kante einer nach Rot absch. Bande, scharf
4282,6	6	Kante einer nach Rot absch. Bande, scharf
4287	5	Linien der Bande
4291,8	5	Linien der Bande
4333,6	7	Kante einer nach Rot absch. Bande, sehr scharf
4354,2	9	Kante einer nach Rot absch. Bande, sehr scharf
4412,5	7 u	Kante einer nach Rot absch. Bande, sehr unscharf
4434,5	7 u	Kante einer nach Rot absch. Bande, sehr unscharf
4495,3	6 u	Kante einer nach Rot absch. Bande, sehr unscharf
4518	6 u	Kante einer ganz diffus nach Rot absch. Bande
4580,5	6 u	Kante einer nach Rot absch. Bande, unscharf
4615	2	Kante einer diffusen Bande? ganz unscharf
4664,3	3	Kante einer nach Rot absch. Bande, unscharf
4712	1	Kante einer ganz diffusen Bande
4758	2	Beginn einer diffusen nach Rot absch. Bande
4789,6	4	Kante einer nach Rot absch. Bande
4847,9	7	Kante einer nach Rot absch. Bande, scharf
4882,4	8	Kante einer nach Rot absch. Bande, etwas weniger scharf
4947,9	3	Kante einer diffus nach Rot absch. Bande
4985,4	4	Kante einer diffus nach Rot absch. Bande
5105,76	10	Kupferlinie
5153,33	2	Kupferlinie
5216,45	3	Kupferlinie
5700,39	3	Kupferlinie
5782,30	9	Kupferlinie
6046,2	3	1. Kante einer nach Rot absch. Bande
6060,5	7	2. Kante einer nach Rot absch. Bande
6148,3	4	1. Kante einer nach Rot absch. Bande
6162	8	2. Kante einer nach Rot absch. Bande
6296,5	2	1. Kante einer nach Rot absch. Bande
6403,5	2	2. Kante einer nach Rot absch. Bande

Wie ersichtlich befinden sich in den beiden Aufnahmen eine Anzahl Banden, die schon in der Kupferbogenaureole auftraten. Die

Kupferlinien zeigen in beiden die nämlichen relativen Intensitätsverhältnisse. Die neu hinzugekommenen Banden gehören dem Kupferchlorid an.

In der folgenden Tabelle sind die Vermessungen des Kupferchloridspektrums in der Gebläseflamme von Derichsweiler[18]) und Kien[19]) zum Vergleiche mit den gefundenen Banden zusammengestellt.

Kien		Derichsweiler	Kupferelektroden I. Aufnahme		Kohleelektroden II. Aufnahme	
λ	I		λ	I	λ	I
4031	1					
4063	3					
4114	1	4122			4125 ?	2
4150	1				4160 ?	1
4188,3	2	4188	4200 ?	2	4188	2
4217,16	2	4216	4235 ?	1	4218	2
{4259,12	4	4259	{4259	3	{4259,8	6
{4279,70	5	4280	{4279	2	{4282,6	6
{4333,254	6	4333	{4333,6	5	{4333,6	7
{4353,892	6	4353,9	{4354,2	7	{4354,2	9
{4412,14	4	4412	{4412,5	5	{4412,5	7
{4433	3	4434	{4434,5	5	{4434,5	7
{4493,63	4	4493	{4495	4	{4495,3	6
{4515	3	4522 ?	{4515	1	{4518	6
4578,94		4580	4578 ?		{4580,5	6
4618 ?		4612 ?			{4615 ?	2
4664		4663 ?			{4664,3	3
4691,2	1	4704 ?			{4712	1
4757,6	2	4757			{4758	2
4789		4787			{4789,6	4
4846,79	4	4847			{4847,9	7
4881,37	4	4883			{4882	8
4950,13	2	4946			{4947,9	3
4982	3	4983			{4985,4	4
5050	2	5047				
5091	2	5087				
5150	1					
5202,6	1					
5257,91	3					
5371,45	4					
5434,81	2					
5486,3	$^1/_2$					
5590,4	1					
5679,1	$^1/_2$					

Wie aus dieser Zusammenstellung geschlossen werden kann, ist es lediglich die höhere Temperatur der Kohleelektroden, die eine intensivere Erregung bewirkt und die schwächeren Banden hervortreten läßt.

Zusammenfassung.

Zu den Kupferchloridbanden treten noch die bekannten Banden der Kupferbogenaureole hinzu. Die relativen Intensitäten der Kupferlinien in dieser Kupferchloridbogenaureole sind dieselben wie die in der Kupferbogenaureole.

Aureole des Kohlebogens mit Kupferbromid.

Das Kupferbromid befand sich in der positiven (unteren) Elektrode, die Bogenflamme also an der negativen; die Netzspannung betrug 220 Volt, die Stromstärke 5,5 Amp., die Expositionszeit 10 Min.

λ	I	
4022,83	3	
4062,94	4	
4030	1	Kante einer nach Rot absch. ganz diffusen Bande
4065	2	Kante einer nach Rot absch. ganz diffusen Bande
4115	3	Kante einer nach Rot absch. ganz diffusen Bande
4160	4	Kante einer nach Rot absch. ganz diffusen Bande
4211,5	4,5	scharfe Kante einer nach Rot absch. Bande
4226,6	6	
4239	2	Linien obiger Bande
4245	2	
4251,6	2	
4263,8	4	Kante einer nach Rot absch. Bande
4289,2	5	1. Kante einer nach Rot absch. Bande
4297,5	5	2. Kante
4320	4	Kante einer nach Rot absch. Bande
4341	6	Kante einer nach Rot absch. Bande
4379,5	3	Kante einer diffusen nach Rot absch. Bande
4401,4	5	Kante einer diffusen nach Rot absch. Bande
4407,0		Linien
4411,9		
4444,2	2	Kante einer ganz diffusen Bande
4475	3	Intensitätsmaximum derselben
4461	1	
4466	1	
4472,8	1	Linien obiger Bande
4479	1	
4484	1	
4549	1	diffuse Bande
4710	2	Kante einer diffusen nach Rot absch. Bande
4820	3	Kante einer diffusen nach Rot absch. Bande
4878,76	5	Kante einer scharfen nach Rot absch. Bande
4955,5	4	Kante einer unscharfen nach Rot absch. Bande
5105,76	10	Kupferlinie
5153,33	3	Kupferlinie
5218,45	4	Kupferlinie
5237		kurze nach Blau absch. Bande
5241,6		kurze nach Rot absch. Bande
5700,39	4	Kupferlinie

(Fortsetzung.)

λ	I	
5782,30	10	Kupferlinie
5890,19	10	
5896,16	10	
6046,2	3	1. Kante einer nach Rot absch. Bande
6060,5	6	2. Kante
6148,3	4	1. Kante einer nach Rot absch. Bande
6162,8	6	2. Kante
6282,8	1	1. Kante einer nach Rot absch. Bande
6296,5	2	2. Kante
6380,9	1	1. Kante einer nach Rot absch. Bande
6403,5	2	2. Kante

Auch in dieser Aufnahme sind wieder die Banden der Kupferbogenaureole vertreten, dazu kommen noch die Flammenbanden des Kupferbromids.

In der folgenden Tabelle sind diese letzteren mit den Vermessungen der Kupferbromidbanden in der Gebläseflamme zusammengestellt.

Derichsweiler λ	Mitscherlich λ	Aureole des $CuBr_2$-Bogens λ	I
	5215		
5121	5124		
5034	5033		
4955	4949	4955	
4879	4872	4878,7	
4811	4823	4820	
	4619		
4578	4593		
	4537		
4510 ?	4515		
4462 ?	4462		
4440	4447	4444	2
4400,0	4405	4401	5
4379	4384	4379,5	3
4341,3	4340	4341	6
4320	4320	4320	4
4283		4289	5 ?
4263 ?		4263,8	4
4207		4211,5	4,5 ?
4158		4160	4
4109		4115	3
		4065	2 ?
		4031	1 ?

Zusammenfassung.

Das Resultat dieser Untersuchung ist analog dem über die Kupferchloridbogenaureole. Die Kupferbromidbogenaureole ent-

hält eine Anzahl nach Rot abschattierter Banden, und zwar die intensivsten im Orange 6060, 6162, 6296, 6403 der Kupferbogenaureole und die Kupferbromidflammenbanden in ziemlich vollständiger Zahl.

Aureole des Kohlebogens mit Kupferfluorid.

Eine interessantere spektrale Beschaffenheit weist die Aureole des mit Kupferfluorid beschickten Kohlebogens auf. Das Aussehen des Bogens und der Aureole läßt auf eine starke Änderung der spektroskopischen Verhältnisse schließen; der Bogen brennt mit Kupferfluorid sehr gut.

Das Kupferfluorid befand sich in der positiven (unteren) Elektrode, die Bogenflamme an der negativen Elektrode. Die Netzspannung war 220 Volt, die Stromstärke 6,5—7 Amp., Dauer der Exposition 10 Min.

In der Aureole sind es vorwiegend nur zwei Banden, die sich bei größerer Dispersion als die mir zur Verfügung st. wohl gut auflösen lassen würden. Die eine ungefähr in der Gegend 4920 gehört dem Kupferfluorid, die andere in der Gegend 6050 dem Calciumfluorid an. Die Bande 4920 läßt schon in meiner Aufnahme eine Anzahl sehr schöner Bandenlinien erkennen, leider konnte ich nur ein paar davon vermessen.

λ	I	
4917,4	4	Die Bande läuft nach Violett; gehört dem Kupferfluorid an
4922,5	6	
4927,9	4	
4932,8	6	
6037,1	6	Nach Violett absch. Bande, gehört dem Calciumfluorid an
6049,7	6	
6063,2	6	

Außer diesen Banden fanden sich noch die stärksten Kupferlinien vor, darunter:

λ	I
5782	9
5700	4
5218	5
5158	4
5105	9

Wird der Bogen zwischen Kupferelektroden gebrannt, so erscheint nur die Bande bei 4920. Die Kohlen enthalten offenbar immer soviel Calcium, daß bei der großen Affinität von Fluor und Calcium die Calciumfluoridbanden emittiert werden.

Im Bogen selbst erscheinen außer den genannten Banden 4917,4 und 6037,1 noch eine Anzahl anderer, deren Intensitätsmaxima bei 4777, 5060 und 4640 liegen und die dem Kupfer angehören.

Über die Kupferfluoridbande habe ich bis jetzt keine Arbeit vorgefunden. Eine weitere Vermessung dieser Bande mit großer Dispersion scheint mir von Interesse, da über verschiedene Fluoride schon ausführliche Untersuchungen vorliegen.[20])

Zinnbogenaureole.

Zur Erzeugung des Bogens benutzte ich zuerst Stäbe aus metallischem Zinn, doch mußte ich dies bald aufgeben, da bei größeren Stromstärken die Stäbe zu rasch abschmolzen, während bei niederen Stromstärken die Bogenflamme zu wenig ausgedehnt war. Am besten gelang die Erzeugung einer Aureole zwischen Kohleelektroden, die mit metallischem Zinn versehen waren.

Bei der Aufnahme, deren Vermessung ich im folgenden geben werde, befand sich das Zinn in der negativen Elektrode. Die Netzspannung war 440 Volt, die Stromstärke 3,7 Amp. Die Exposition der Aureole betrug 20 Sek.

Die Aufnahme enthält außer einigen Linien des Zinns eine größere Anzahl Banden, die fast durchweg nach Rot abschattiert und von großer Intensität sind, was bei der geringen Expositionszeit doppelt auffallend ist. Eine Vergleichsaufnahme des inneren Bogens zeigt dieselben Banden in erheblich geringerer Intensität.

λ	I	
3580	1	Kante einer nach Rot absch. Bande, diffus
3615	2	Kante einer nach Rot absch. Bande, diffus
3655,7	9	Linie
3691,2	3	Kante einer nach Rot absch. Bande, ziemlich scharf
3704,0	3	Kante einer ganz diffus nach Rot absch. Bande
3721,5	4	Kante einer nach Rot absch. Bande, zieml. scharf
3752,8	4	Kante einer ganz diffus nach Rot absch. Bande
3779,2	3	Kante einer nach Rot absch. Bande, unscharf
3801,26	10	Zinnlinie
3803 ?	3	Kante einer nach Rot absch. Bande, zeigt Auflös. in Linien
3820,6 ?	3	Bandenkante oder Eisenlinie?
3833,5	6	Kante einer n. Rot absch. Bande, zieml. scharf, zeigt Auflös.

(Fortsetzung.)

λ	I	
3864,9	6	Kante ein. n. Rot absch. Bande, zieml. scharf, zeigt Auflös.
3899,5	6	Kante einer diffus nach Rot absch. Bande, zeigt Auflös.
3921,5	6	Beginn einer ganz diffusen Bande
3933,7	4	Linie
3943,5	4	Linie
3951,3	3	Beginn einer ganz diffus nach Rot absch. Bande.
3961,9	5	Linie
3968,9	8	Linie
3984,9	7	Beginn einer diffusen Bande, zeigt ausgeprägte Auflös.
4020,1	6	Kante einer nach Rot absch. Bande, zieml. scharf
4045	3 ?	Beginn einer ganz diffusen Bande
4063,6	2	Eisenlinie
4068	3 ?	Beginn einer ganz diff. Bande
4079,2	7	Kante einer nach Rot absch. Bande, zieml. scharf
4109	6	Beginn einer diff. nach Rot absch. Bande, zeigt Auflös.
4122,2	6	Beginn einer diff. nach Rot absch. Bande, zeigt Auflös.
4137	3	Beginn einer ganz diff. n. Rot absch. Bande, zeigt Auflös.
4145	5	Intensitätsmaximum dieser Bande
4173	5	Beginn einer nach Rot absch. diff. Bande, zeigt Auflös.
4208,8	4	Beginn einer nach Rot absch. diff. Bande
4219	4	

Von diesen beiden Banden an konnte ich keine Auflösung in Linien mehr wahrnehmen.

λ	I	
4226,8	10	Linie
4240	4	Beginn einer diffus nach Rot absch. Bande
4262,6	6	Kante einer nach Rot absch. Bande, scharf
4307,8	6	Beginn einer diffus nach Rot absch. Bande
4344	6	Beginn einer diffus nach Rot absch. Bande
4382	6	Beginn einer diffus nach Rot absch. Bande
4414	7	Kante einer nach Rot absch. Bande, zieml. scharf
4455	6	Kante einer nach Rot absch. Bande, zieml. scharf
4485	3	sehr schwache, undeutlich nach Rot absch. Bande
4500	2	sehr schwache, undeutlich nach Rot absch. Bande
4524,92	10	Zinnlinie
4553	4	Kante einer nach Rot absch. Bande
4572	4	Kante einer diffus nach Rot absch. Bande
4594,5	4	Kante einer diffus nach Rot absch. Bande
4616	4	Kante einer diffus nach Rot absch. Bande
4636	4	Kante einer diffus nach Rot absch. Bande
4663,0	5	Kante einer ziemlich scharfen nach Rot absch. Bande
4707	5	Beginn einer diffusen nach Rot absch. Bande
4745—4755	5	diffuse Bande
4766,3	4	Linie
4785	5	
4835	5	
4882	5	Kanten von nach Rot absch. unscharfen Banden
4925	5	
4950	5	
4631,91		Zinnlinie

Die Banden gehören größtenteils dem Flammenspektrum des Zinns an, wie der Vergleich zeigen wird. Das Flammenspektrum des Zinns war schon von Salet beobachtet worden;[21] er schrieb es dem Zinnoxyd zu. In dem Atlas von Hagenbach und Konen findet sich eine sehr schöne Aufnahme des Zinnflammenspektrums vor. Von der Seipen führte eine genaue Vermessung dieses Spektrums mit dem Gitter aus.[22]) Living und Dewar gelang es 1883 das Bandenspektrum im elektrischen Bogen zu erzeugen.[23]) Die erste Photographie, die von dem Spektrum veröffentlicht wurde, stammt von Hartley aus dem Jahre 1894.[24])

In der folgenden Tabelle sind die Kanten des Zinnflammenspektrums nach den Vermessungen von der Seipens und Hartleys und die von mir in der Aureole gefundenen Kanten zum Vergleich zusammengestellt.

Hartley	von der Seipen	Bandenkanten in der Aureole	
λ	λ	λ	I
3068,6	3064		
3095	3090		
	3122		
	3147		
3179	3174		
3206	3203		
3234,5	3230		
3268	3262		
3298,5	3292		
3329,5	3324		
	3354		
3394	3388		
	3407		
3421	3416		
3451	3445		
3490	3485		
	3494		
3547	3542		
	3568		
3590	3586	3580	1
	3596		
3618	3615	3615	2
	3671		
3696	3691	3691,2	3
	3704	3704	3
3727	3722	3721,5	4
3761	3753	3752,8	4
3787	3779	3779,2	3
3810	3803	3803	3
3827	3819	3820,6	3
3841	3834	3833,5	6
3871	3864	3864,9	6
3907	3900	3899,5	6

(Fortsetzung.)

Hartley	von der Seipen	Bandenkanten in der Aureole	
λ	λ	λ	*I*
	3920	3921,5	6
	3937		
3955	3948		
	3952	3951,3	3
3981	3985	3984,9	7
4033	4027	4020,2	6
	4046	4045	3
	4069	4068	3
	4075		
4089	4079	4079,2	7
4119	4112	4109	6
4128	4122	4122,2	6
	4162	4137 ?	5
	4173	4173	5
	4206	4208,8	4
	4212		
4221,5	4218	4219	4
4243	4243	4240	4
4265	4262	4262,6	6
4305	4302	4307,8	6
4347	4348	4344	6
	4358		
4369	4366		
	4387	4382	6
	4412	4414	7
	4428		
4454	4453	4455	6
4456	4470	4485	3
4505,5	4499	4500	2
	4511		
4532	4525	Linie 4524,92	macht die Bande unsicher
	4542	4553	4
4557	4570	4572	4
	4592	4594,5	4
4609	4614	4616	4
4656	4635	4636	4
4668	4663	4663	5
	4706	4707	5
	4730	4750	5
	4766	4766,3	4 macht die Bande unsicher
		4785	5
		4835	5 gehören wahrsch.
		4882	5 d. Zinn an
		4925	5
		4950	5

Wie aus dem Vergleiche hervorgehen mag, treten fast sämtliche Zinnbanden in der Aureole auf. (Die Banden von 3064 bis 3586 können auf meiner Aufnahme schon aus dem Grunde nicht erscheinen, weil das Spektrum nur bis 3500 reicht.)

Zinnchloridbogenaureole.

Die Zinnchloridbogenaureole enthält gegenüber der Zinnbogenaureole nicht viel Neues, es sind dieselben Banden und Linien nur in bedeutend geringerer Zahl. Im Rot war noch eine diffuse kantenlose Bande sichtbar zwischen 6230 und 6600 mit einem Intensitätsmaximum bei 6430, die nicht dem Zinn angehört; ferner weist die Aureole noch die Cyanbanden 3883 und 4216 auf. Von den Zinnbanden zeigten auch hier eine Anzahl Auflösungen in Linien. In der von mir gemachten Aufnahme betrug die Stromstärke ca. 6 Amp., die Netzspannung 440 Volt, die Dauer der Exposition 40 Sek.

Ich verzeichne in der folgenden Tabelle die gefundenen Banden und Linien.

λ	I	
3655,7	3	Linie
3691	1	Kante einer nach Rot absch. Bande, unscharf
3704	1	Kante einer nach Rot absch. Bande, unscharf
3721	2	Kante einer nach Rot absch. Bande, unscharf
3801,16	10	Zinnlinie
3833	4	Kante einer nach Rot absch. Bande, unscharf
3865	5	Kante einer nach Rot absch. Bande, unscharf
3900	4	Beginn einer ganz diff. Bande, zeigt Auflösung
3921	3	Beginn einer ganz diff. Bande, zeigt Auflösung
3956	5	Beginn einer diff. nach Rot absch. Bande, zeigt Auflös.
3980	5	Beginn einer diff. nach Rot absch. Bande, zeigt Auflös.
3985	7	Beginn einer sehr unscharfen n. Rot absch. B , zeigt Aufl.
4020	4	Beginn einer ganz diff. nach Rot absch. Bande
4079	6	Kante einer nach Rot absch. Bande
4109	6	Kante einer nach Rot absch. Bande
4122	6	Kante einer nach Rot absch. Bande
4143	2	Beginn einer ganz diff. Bande
4175	2	Ganz schwache diff. Banden. Werden von den Cyan-
4208	2	banden fast verdeckt.
4226,8	10	Linie
4345	4	Kante einer diff. nach Rot absch. Bande
4262	4	Kante einer diff. nach Rot absch. Bande
3307,8	2 ?	
4344	4	Kante einer nach Rot absch. diff. Bande
4382	2	Kante einer nach Rot absch. diff. Bande
4414	5	
4454	5	Kante einer nach Rot absch. Bande, ziemlich scharf
4572	1	
4663	1	Überaus schwache nach Rot absch. Banden
4707	1	
4766	1	
4785	1	Nach Rot absch. Bande
4835	1	Nach Rot absch. Bande
4882	1	Nach Rot absch. Bande
4925	1	Nach Rot absch. Bande
4950	1	Nach Rot absch. Bande

Die letzten fünf Banden gehören wahrscheinlich dem Zinn an.

Von Zinnlinien fand ich die de Watteville schen[25]) Flammenlinien 3801, 4524 und 5631.

Einfluß von vermehrter Sauerstoffzufuhr.

Eine Untersuchung der Zinnbogenaureole in Luft zu gleichen Teilen mit Sauerstoff gemengt förderte dieselbe Zahl von Banden zutage, jedoch war ihre Intensität bedeutend geringer, obwohl die Stromstärke etwas größer war (6 Amp.) als bei der Untersuchung in Luft (ca. 4 Amp.) und die Exposition der Aureole ca. 3 Min. dauerte.

In dieser Aufnahme erscheinen die Cyanbanden 3883 und 4216 und die Borbanden stark.

Einfluß einer Kohlensäureatmosphäre.

Die Kohlensäure bewirkt eine Schwächung der Zinnbanden.

Im Bogen finden sich die Kohle- und Cyanbanden vor (mit Ausnahme von 4601, die aber wahrscheinlich von der viel intensiveren Kohlebande 4737 verdeckt ist); am intensivsten sind die Cyanbande 3883 und die Kohlebande 4737. Außer diesen sind die kräftigsten Zinnbanden wahrnehmbar.

In der Aureole sind ebenfalls nur die intensivsten Zinnbanden noch zu unterscheiden, daneben treten die Cyanbande 3883, die Kohlebande 4737 und die Borbanden auf.

Das Resultat ist auch hier eine Schwächung des Zinnflammenspektrums, die um so bemerkenswerter scheint, als bei dieser Aufnahme die Exposition der Aureole ca. 5 Min. dauerte, die Stromstärke ca. 5,5 Amp. betrug, also mehr als bei der Aufnahme in sauerstoffreicherer Luft.

Ich gebe in der folgenden Tabelle den Vergleich des Zinnflammenspektrums (nach Hartley und von der Seipen) mit der Zinnbogenaureole und der Zinnchloridbogenaureole nach meinen Vermessungen.

Hartley	von der Seipen	Zinnbogenaureole		Zinnchloridbogenaureole	
λ	λ	λ	I	λ	I
	3671				
3696	3691	3691,2	3	3691	1
	3704	3704	3	3704	1
3727	3722	3721,5	4	3721	2

(Fortsetzung.)

Hartley	von der Seipen	Zinnbogenaureole		Zinnchloridbogenaureole	
λ	λ	λ	I	λ	I
3761	3753	3752,8	4		
3787	3779	3779,2	3		
3841	3834	3833,5	6	3833	4
3871	3864	3864,9	6	3865	5
3907	3900	3899,5	6	3900	4
	3920	3921,5	6	3921	3
	3937				
3955	3948			3956	5
	3952	3951,3	3		
				3981	5
3981	3985	3984,9	7	3985	7
4033	4027	4020,2	6	4020	4
	4046	4045	3		
	4069	4068	3		
	4075				
4089	4079	4079,2	7	4079	6
4119	4112	4109	6	4109	6
4128	4122	4122,2	6	4122	6
	4162	4137 ?		4143 ?	2
	4173	4173	5	4175	2
	4212				
4221,5	4218	4219	4		
4243	4243	4240	4	4245	4
4265	4262	4262,6	6	4262	4
4305	4302	4307,8	8	4307,8 ?	2
4347	4348	4344	6	4344	4
	4358				
4369	4366				
	4387	4382	6	4382	2
	4412	4414	7	4414	5
	4428				
4454	4453	4455	6	4454	5
4456	4470	4485	3		
4505,5	4499	4500	2		
4532	4525	4524,92	Linie		
	4542	4553	4		
4457	4570	4572	4	4572	1
	4592	4594,5	4		
4609	4614	4616	4		
4656	4635	4636	4		
4668	4663	4663	5		
	4706	4707	5		
	4730	4730			
	4766	4766		4766	

Zinnbromidbogenaureole.

Die Zinnbromidbogenaureole enthält dasselbe wie die Zinnchloridbogenaureole.

Der Unterschied zwischen dem Bogen und der Aureole besteht nur in der Intensität.

Auf Vermessungsangaben glaube ich hier verzichten zu können.

Zinnjodidbogenaureole.

Die Untersuchung der Aureole des Zinnjodidbogens bietet nichts Neues. Die diffuse Bande im Rot zwischen 6230 und 6600 mit einem Intensitätsmaximum bei 6430 erschien auf der Aufnahme etwas stärker.

Zusammenfassung.

Das wichtigste Resultat der Untersuchung des Zinns und der Zinnhaloide ist dies: die Aureole enthält das Metallflammenspektrum und die wichtigsten Metallflammenlinien, es lassen sich jedoch bezüglich des Haloids keine Schlüsse aus dem Aureolenspektrum ziehen.

Kohlensäure und vermehrte Sauerstoffzufuhr bewirken eine Abschwächung der Banden.

Bleibogenaureole.

Außer den Cyanbanden 3883 und 4216 sind eine Anzahl nach Rot abschattierter Banden in der Aufnahme. Die Expositionszeit der Bleibogenaureole betrug 5 Min., die Stromstärke 6 Amp., die Netzspannung 440 Volt. Das Blei befand sich in der positiven Elektrode. Ich mußte für diese Aufnahmen Kohleelektroden wählen, da Bleielektroden selbst von größerer Dicke zu rasch abschmolzen.

Was ich an Banden und Linien gefunden habe, sei in der folgenden Vermessung wiedergegeben.

λ	I	
3639,71	10	Bleilinie
3771,7	10	Bleilinie
3683,60	10	Bleilinie
3740,10	10	Bleilinie
3933,9	6	Linie
3961,2	4	Linie
3968,9	5	Linie
4019,7	10	Bleilinie
4057,97	10	Bleilinie
4062,5	10	Bleilinie
4144 ?	3	Kante einer nach Rot absch. Bande, unscharf
4168	10	Bleilinie
4227,1	10	Linie
4229	4	Kante einer nach Rot absch. Bande, unscharf, zeigt Auflös.
4247	1	Kante ein. n. Rot absch. Bande, ganz unsicher, zeigt Auflös.
4282	1	Kante ein. n. Rot absch. Bande, ganz unsicher, zeigt Auflös.
4317,1	5	Kante einer nach Rot absch. Bande, zeigt Auflösung
4340	4	Bleilinie

(Fortsetzung.)

λ	I	
4355 ?	1	Kante ein. n. Rot absch. Bande, sehr unsicher, zeigt Auflös.
4411	5	Kante einer nach Rot absch. Bande, scharf, zeigt Auflös.
4454,7	4	Kante einer nach Rot absch. Bande, scharf, zeigt Auflös.
4482 ?	1	Kante ein. n. Rot absch. Bande, sehr unsicher, zeigt Auflös.
4501 ?	2	Beginn einer diff. Bande (vielleicht zur folgenden gehörig)
4509	5	Kante einer nach Rot absch. Bande
4539 ?	1	Beginn einer diff. Bande
4553	7	Kante einer nach Rot absch. Bande, scharf
4616,8 ?	2	Kante einer nach Rot absch. Bande, scharf
4628 ?	2	
4659	7	Kante einer nach Rot absch. Bande, scharf
4707	3	Kante einer nach Rot absch. Bande, etwas unscharf
4721	2	Kante einer nach Rot absch. Bande, etwas unscharf
4747	5	unscharf, Beginn einer nach Rot absch. Bande
4784 ?	1	ganz unsicher, ob Bandenkante oder Linie, unscharf
4800 ?	2	Linie
4818	7	Kante einer nach Rot absch. Bande
4851,2	4	Kante einer nach Rot absch. Bande
4895	2	diffuse Linie oder Kante
4920	2	diffuse Linie oder Kante
4957	2	diffuse Linie oder Kante
4985	2	Kante einer nach Rot absch. Bande
5005,62	8	Bleilinie
5201,65	3	Bleilinie
5410 ?	1	Kante einer nach Rot absch. Bande
5460 ?	1	Kante einer nach Rot absch. Bande
5615 ?	1	Kante einer nach Rot absch. Bande
5680 ?	1	Kante einer nach Rot absch. Bande
5912 ?	2	Kante einer nach Rot absch. Bande
6002,08	3	Bleilinie
6002,1	1	Kante einer nach Rot absch. Bande
6164	2	Kante einer nach Rot absch. Bande
6254	2	Kante einer nach Rot absch. Bande
6430	2	Kante einer nach Rot absch. Bande
6524	1	Kante einer nach Rot absch. Bande

Im ganzen konnte ich 33 Bandenkanten vermessen. Ich stelle sie in der folgenden Tabelle mit der von Hagenbach und Konen publizierten Aufnahme zusammen.

Bleiflamme		Bleibogenaureole	
λ	I	λ	I
3740 ?			
3805	1 u		
3875	1 u		
3915	1 u		
3955	2		
3987	3		
4073 ?	4		
4100 ?	4		

(Fortsetzung.)

Bleiflamme			Bleibogenaureole	
λ	I		λ	I
4147	5		4144	3
4183 ?	3			
4229	6	scharf	4229	4
			4247 ?	1
			4282 ?	1
4317	7	scharf	4317,1	5
4357	2	u	4355 ?	1
4382	2	u		
4411	6	scharf	4411	5
4455	4	scharf	4454,7	4
4511	4		4509	5
4554	8	scharf	4553	7
			4616,8 ?	2
4629	3	scharf	4628 ?	2
4660	7	scharf	4659	7
4705	3	u	4707	3
			4721	2
4750	3	u	4747	5
4777 ?	1	u	4784 ?	1
			4800 ?	2
4818	6	scharf	4818	7
4850	4	u	4851,2	4
			4895	
4916	3		4920	2
4958	2	u		
4986,5	4	scharf	4985	2
5026	2	u		
5067	1	u		
5112	1	u		
5140	4	zieml. scharf		
5167	3	u		
5220 ?	2			
5260	5	scharf		
5334	5	scharf		
5350	5			
5378	3			
5410	5	scharf	5410 ?	1
5463	8	scharf	5460 ?	1
5558 ?	6	scharf		
5619	6	scharf	5615 ?	1
5682	8	scharf	5680 ?	1
5908	8	scharf	5912	2
			6002,1	1
			6164	2
			6254	2
			6430	2
			6524	1

Hagenbach und Konen finden neben diesen Banden, die sie dem Blei event. dem Bleioxyd zuschreiben, nur drei Bleilinien 4058, 3684 und 3940. Ich fand in der Aureole die Linien 6002,08; 5201,65; 5005,62; 4340,65; 4168,21; 4062,5; 4057,97; 4019,7;

3740,1; 3683,6; 3671,7; 3639,71. Dies sind die sämtlichen Bleilinien, die in dem betrachteten Spektralbezirk möglich sind, wie ein Vergleich mit der Vermessung von Kayser und Runge zeigt.[26]) Offenbar tritt in der Aureole keine Selektion auf wie etwa beim Kupfer.

Bleibogen		Bleibogenaureole	
λ	I	λ	I
6002,08	2	6002,08	3
5201,65	4	5201,65	3
5005,62	6	5005,62	8
4340,65	2	4340,65	4
4168,21	4	4168,21	10
4062,30	4	4062,30	10
4057,97	10	4057,97	10
4019,77	4	4019,77	10
3740,1	8	3740,1	10
3683,6	10	3683,6	10
3671,65	4	3671,65	10
3639,71	10	3639,71	10

Meine Aufnahme ist im Blau überexponiert und nur eine okulare Betrachtung des Negativs erweist die relativen Intensitäten ungefähr gleich.

Einfluß einer Kohlensäureatmosphäre.

Nur geringe Veränderungen im ganzen Spektrum wurden durch eine Atmosphäre von Kohlensäure hervorgerufen. Die Aufnahme läßt einen ungefähren Vergleich mit der Aufnahme in Luft zu. Die Exposition der Aufnahme in Luft dauerte 5 Min., die Netzspannung betrug 440 Volt, die Stromstärke 6 Amp., während bei der Aufnahme in Kohlensäure die Exposition 5 Min., die Netzspannung 440 Volt und die Stromstärke 7,7 Amp. betrug.

Die Bandenkanten traten nicht ausgeprägt hervor, doch konnte ich ein Unschärferwerden derselben nicht beobachten. Die Borbanden erschienen in Kohlensäure etwas intensiver, die Kohlebanden waren bis auf 6187 (die von der Borbande 6211 verdeckt wurde), die Cyanbanden bis auf 4601 und 590 vorhanden.

Einfluß von vermehrter Sauerstoffzufuhr.

Nicht inhaltsreicher als die vorhergehende Aufnahme ist eine solche in Sauerstoff zu gleichen Teilen mit Luft gemischt. Sie enthält ziemlich dasselbe was die Aufnahme in Luft, der einzige Unter-

schied ist vielleicht der, daß die Borbanden und das ganze Spektrum intensiver werden, denn es genügte eine Exposition von 3 Min. (220 Volt, 4,5 Amp.) um die gleiche Intensität wie bei der Aureole in Luft bei 5 Min. Exposition (440 Volt, 6 Amp.) zu erzeugen.

Zusammenfassung.

Die ganze Untersuchung über die Bleibogenaureole förderte das Resultat zutage: in der Bleibogenaureole erscheinen die Flammenbanden des Bleis und die sämtlichen Bleilinien nach ihren Intensitaten im Bogen. Eine Änderung der Atmosphäre bringt geringe Intensitätsänderungen des gesamten Spektrums mit sich.

Die Bogenflamme der Bleihalogenverbindungen.

Die Bleichloridbogenaureole enthält das gleiche wie die Bleibogenaureole. Die Intensitäten der Linien sowohl als der Banden sind in beiden dieselben.

Das nämliche gilt von der Bleibromid- und Bleijodidbogenaureole.

Die Bleifluoridbogenaureole weist eine Anzahl Bleilinien, Bleibanden und die Calciumfluoridbanden in besonderer Stärke auf. Auch hier kann wie bei Chlor, Brom und Jod ein Einfluß des Halogens auf das Blei nicht konstatiert werden.

Die Eisenbogenaureole.

Über dieses Spektrum erschien im letzten Jahre in Wien bei Eder & Valenta eine ausführliche Untersuchung von Domek, der dazu ein Konkavgitter von 6 m Radius benutzte. Ich konnte jedoch aus der Abhandlung nicht ersehen, daß der Verfasser sich bewußt war, das Spektrum der Aureole, der Hülle, die sich um den eigentlichen Bogen zieht, untersucht zu haben, er gibt vielmehr an, daß bei einer gewissen höheren Spannung Banden im Eisenbogen erscheinen. Eine Ähnlichkeit zwischen seiner und meiner Aufnahme kann zwar nicht konstatiert werden wegen der zu großen Unterschiede in der Dispersion der Spektrographen, doch sind es unzweifelhaft dieselben Spektren, da die Bezirke, in denen sie liegen, identisch sind.

Die Eisenbogenflamme weist eine diffuse Bande auf zwischen den Wellenlängen 5590 und 6600 mit zwei Intensitätsmaxima bei

5915 und 6230. Ihre Struktur kann nur mit einer Aufnahme bei großer Dispersion erkannt werden.

Außer der genannten Abhandlung existieren einige ältere Beschreibungen eines Eisenbandenspektrums von Ciamician[27]) und Lecoq de Boisbaudran.[28])

Eine Bemerkung glaube ich über meine Aufnahme noch machen zu dürfen, nämlich über die auffällige Verschiebung der von der Aureole emittierten Strahlung nach Rot hin und das damit verbundene Zurücktreten der Strahlungsintensität der kürzeren Wellenlängen.

Von den Metallen Zink, Cadmium und Aluminium ist nur zu erwähnen, daß ihre Aureolenspektren dasselbe zeigen wie die der Bogenspektren. Eine besondere Selektion in den Linien oder beim Aluminium in den Banden konnte ich nicht feststellen.

Aureole des Silberchloridbogens.

Eine Aureole, von der ich in Analogie zum Kupfer gewisse Resultate zu erwarten berechtigt war, ist die des Silbers. Banden, wie sie das Hartleysche Silberflammenspektrum zeigt, erhielt ich keine, doch machen sich wie beim Kupfer eigentümliche Intensitätsverschiebungen in den Linien bemerkbar.

Ich gebe im folgenden einen Vergleich an der Intensität der Silberbogenlinien und der Aureollinien mit denen von Kayser und Runge.

Bogen (Kayser u. Runge			Bogen		Aureole	
	λ	I	λ	I	λ	I
I N I 6	3810,6	2 u	3810,6	5	3810,6	$^1/_2$
II N I 5	3981,87	6 r	3981,87	6	3981,87	1
I N II 5	4055,44	6 R	4055,44	10	4055,44	5
I N I 5	4212,1	8 R	4212,1	10	4212,1	4
II N II 4	4476,29	6 R	4476,29	7,5	4476,29	2
II N I 4	4668,70	8 R	4668,70	8	4668,70	2
I N II 4	5209,25	10 R	5209,25	9	5209,25	2
I N I 4	5465,66	10 R	5465,66	9	5465,66	3
I N I 4	5471,72	6	5471,72	4	5471,72	$^1/_2$
			5890	9,5	5890	10
			5896	9	5896	10

In dieser Tabelle möchte ich darauf aufmerksam machen, daß nur die Natriumlinien in beiden Aufnahmen in gleicher Stärke auftreten, während die Aureollinien gegenüber den Silberlinien außer-

ordentlich geringe Intensität zeigen. Ob eine Gesetzmäßigkeit in der Abschwächung liegt, kann ich aus der einzigen Aufnahme, die mir zur Verfügung steht, noch nicht beurteilen.

Die Exposition der Aureole dauerte 1 Min., die des Bogens 30 Sek. Die Stromstärke betrug 4 Amp., die Netzspannung 220 Volt.

Flammenbogenaureole des Dikaliumdichromats.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung glaube ich nur kurz erwähnen zu dürfen. Außer den Kaliumlinien, deren relative Intensitäten im Bogen und der Aureole annähernd gleich sind, fanden sich im Grün und Orange noch sehr schöne nach Rot abschattierte Banden vor mit den Kanten 5564,5; 5794,7; 6051,9; 6394,5. Ein Vergleich mit einer Arbeit von Stüting[29]) ließ sie mich als dieselben Banden erkennen, die auch im Bogenspektrum des Chroms auftreten. Inwieweit es sich dabei um Banden handelt, die nur der Aureole eigen sind, kann ich nicht entscheiden, da der Bogen gerade beim Dikaliumdichromat von der Bogenflamme nicht scharf getrennt werden kann.

5. Zusammenstellung der Hauptresultate.

Die Metalle Kupfer, Blei, Zinn, Eisen und Aluminium weisen in der Bogenflamme ausgeprägte Banden auf, während Cadmium und Zink darin nur die Bogenlinien zur Emission gelangen lassen.

Die Bogenflammenspektren der Verbindungen $CuCl_2$, $CuBr_2$, $CuFl_2$, $SnCl_4$, $SnBr_4$, SnJ_4, $PbCl_2$, $PbBr_2$, PbJ_2, $K_2Cr_2O_7$ und AgCl lassen sich in zwei Gruppen einteilen.

Die eine Gruppe, zu der $CuCl_2$, $CuBr_2$ und $CuFl_2$ gehören, läßt in der Anordnung und im Bau der Banden den deutlichen Einfluß des Halogens erkennen; sie umfaßt somit die typischen Verbindungsspektren.

Die zweite Gruppe enthält die übrigen der genannten Verbindungen. Die Spektren dieser Gruppe sind identisch mit den Bogenflammenspektren der Metalle und bestehen mit Ausnahme des AgCl aus Banden. Ob diese dem Oxyd oder dem Metall selbst angehören, will ich nicht entscheiden. Jedenfalls hat das Haloid oder der Cr_2O_7-Rest keinen Einfluß auf ihre Struktur. Ein Vergleich mit den Flammenspektren der genannten Verbindungen im Leuchtgas-sauerstoffgebläse erweist die Koinzidenz der Aureolbanden mit den

Flammenbanden. Dies deutet darauf hin, daß die Prozesse, die sich in der Aureole abspielen, von denselben Schwingungszuständen begleitet sind wie die Prozesse in der Flamme, die wir als chemische zu bezeichnen gewohnt sind. Von diesem Gesichtspunkt aus ist man wohl berechtigt auch die ersteren als chemische zu betrachten.

Außer den Bandenspektren werden in der Bogenflamme die intensivsten Bogenlinien emittiert. Beim Kupfer und Silber fällt eine Schwächung gewisser Linien auf.

Durch eine Atmosphäre von Kohlensäure werden die Bogenflammenspektren von Kupfer und Zinn geschwächt. Vermehrte Sauerstoffzufuhr bewirkte bei Kupfer und Blei eine Verstärkung, bei Zinn eine Abschwächung der Banden.

Das Spektrum der Aureole reicht nicht so weit ins Gebiet der kürzeren Wellen wie das des Bogens, jedoch weiter als dasjenige der Gebläseflamme. Aus diesem Umstande schließe ich, daß die Temperatur in der Aureole geringer als im Bogen und höher als in der Gebläseflamme ist.

Neues bietet die Arbeit u. a. in dem Kupferfluoridspektrum, das bis jetzt nicht bekannt war.

Die vorliegende Arbeit wurde in der physikalischen Anstalt der Universität Basel ausgeführt unter der Leitung des Herrn Prof. A. Hagenbach. Es sei mir an dieser Stelle gestattet, ihm für die Anregung und das beständige Interesse, das er der Ausführung meiner Arbeit entgegenbrachte, herzlich zu danken.

Literatur.

1) Winkelmann, Handbuch der Physik **4.** 528.

2) O. Lehmann, Die elektrischen Lichterscheinungen oder Entladungen, Halle 1898.

3) W. Matthies, Ann. d. Ph. **IV.** 30. 1909.

4) L. Arons, Drudes Ann. **1.** 700. 1900.

5) P. Lenard, Drudes Ann. **11.** 636—650. 1903 und Drudes Ann. **17.** 197—247. 1905.

6) H. Kayser, Zeitschr. f. wiss. Phot. **5.** 181—183. 1907.

7) H. Kayser, Zeitschr. f. wiss. Phot. **6.** 68—71. 1908.

8) Messungen von H. Kayser und C. Runge, Index of spectra by M. Watts. Abel Heywood and Son, Manchester 1889.

9) A-Dochtkohle mit Aufdruck, Gebr. Siemens & Co., Lichtenberg.

10) Band 2, 530.

11) H. Kayser, Spektroskopie, loc. cit.

12) Über die Spektren von Kupfer, Silber und Gold. Abhandl. Berl. Akad. 1892.

13) W. N. Hartley und H. Ramage, Scientific Transactions of the Royal Dublin Society **7.** [2] 339—352. 1901.

14) W. N. Hartley, Phil. Trans. **185.** 161—212. 1894.

15) W. Lanzrath, Diss. Bonn 1904.

16) A. S. King, Some effects of change of atmosphere on are spectra with reference to series relations. Astrophysical journal **18.** 1903.

17) H. Kayser, Spektroskopie **5.** 398—403.

18) R. Derichsweiler, Diss. Bonn 1906.

19) P. Kien, Diss. Bonn 1908.

20) Ch. Olmsted, Diss. Bonn 1906.

21) G. Salet, Ann. ch. phys. [4] **28.** 68. 1873.

22) W. v. d. Seipen, Diss. Bonn 1907.

23) D. Living und J. Dewar, Roy. Soc. Proc. **34.** 119—123. 1882.

24) W. N. Hartley, Phil. Trans. of Roy. Soc. **185.** 161—262. 1894.

25) Ch. de Watteville, Phil. Trans. **204.** 139—168. 1904.

26) H. Kayser und C. Runge, Über die Spektren der Elemente. Abhandl. der königl. Akademie d. Wiss. zu Berlin 1893.

27) G. Ciamician, Über die Spektra der chem. Elemente und ihrer Verbindungen. Wien. Ber. **76.** [2] 499—517. 1877.

28) Lecoq de Boisbaudran, Spectres lumineux. Paris 1875.

29) Untersuchung über den roten Teil der Bogenspektren von Nickel, Kobalt und Chrom. Diss. Bonn 1909.

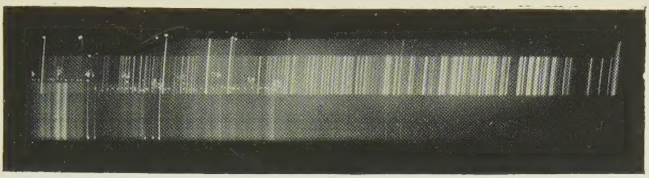
Lebenslauf.

Ich, Heinrich Ulrich Hertenstein aus Kyburg bei Winterthur, wurde geboren am 14. Juli 1885 in Äschach bei Lindau i. Bodensee, als Sohn des Kaufmanns Gottlieb Hertenstein in Lindau und seiner Ehefrau Minna, geb. Frey. Nach Absolvierung der sechsklassigen Realschule in Lindau trat ich im Herbste 1902 in die zweiklassige Industrieschule in Augsburg ein und verließ diese mit dem Zeugnis der Reife. Nachdem ich noch ein Jahr mit dem Studium des Lateins unter Leitung eines Lehrers des königl. Realgymnasiums Augsburg verbracht hatte, bezog ich im Herbste 1905 die technische Hochschule in München für ein Semester. Im November 1906 wurde ich an der Universität Zürich immatrikuliert und blieb dort zwei Semester. Vom Oktober 1907 bis zum Oktober 1911 war ich ununterbrochen an der Universität Basel immatrikuliert. Die vorliegende Arbeit entstand auf Anregung und unter Leitung von Herrn Prof. Dr. A. Hagenbach und wurde im physikalischen Laboratorium der Universität Basel ausgeführt.

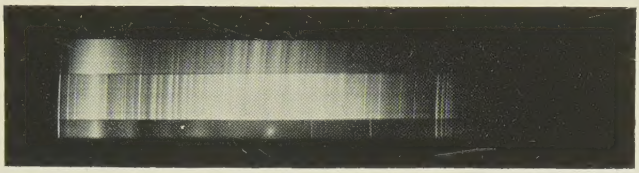
Ich habe bei folgenden Professoren, Privatdozenten und Lektoren Vorlesungen gehört: v. Dyk, Muthmann, Ebert, Harz†, Ultsch†, v. Reber, du Moulin-Eckart, Bluckhorn, Burkhardt, Grubenmann, Werner, Abeljanz, Pfeiffer, A. Hagenbach, Vonder Mühll, Fueter, Fischer, Fichter, Veillon, Spieß und Zickendraht. Bei folgenden Professoren habe ich Praktika, Übungen und Seminarien besucht: Kleiner, A. Hagenbach, Vonder Mühll, Fueter, Nietzki, Schmidt, Fischer und Veillon. Außerdem besuchte ich in München die Lehr- und Versuchsanstalt für Photographie und in Zürich die militärwissenschaftliche Abteilung am Polytechnikum.

Allen meinen Lehrern sei an dieser Stelle für ihre Bemühungen herzlicher Dank ausgesprochen.

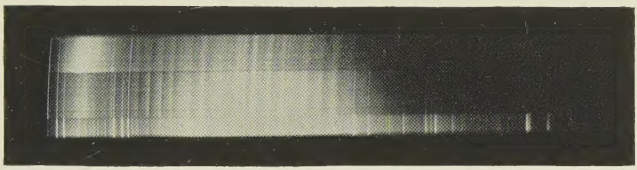
← Rot. → Blau.



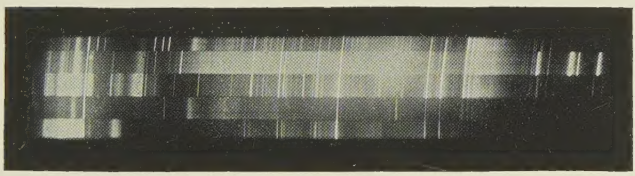
Cadmiumbogen } als Vergleichsspektren
Eisenbogen }
Kupferbogenflamme



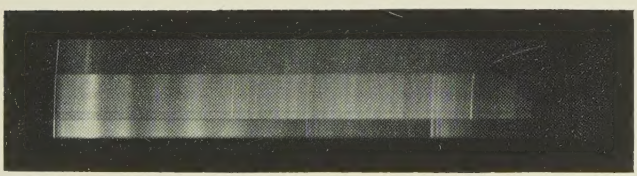
Flammenspektrum des $CuCl_2$
Bogenflammenspektrum des $CuCl_2$
Bogenflammenspektrum der Kohle (ohn
Substanz)



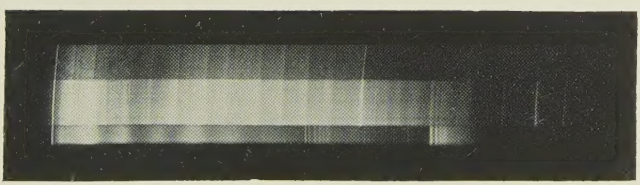
Flammenspektrum des $CuBr_2$
Bogenflammenspektrum des $CuBr_2$
Bogenspektrum des $CuBr_2$



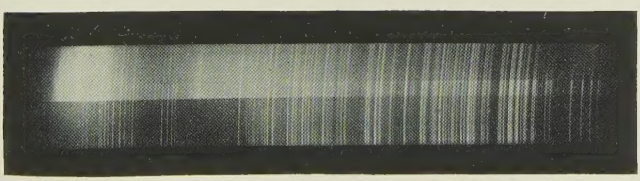
Bogenspektrum des $CuFl_2$
Bogenspektrum des $PbFl_2$ (Bleifluorids)
Bogenspektrum des $CaFl_2$
Bogenspektrum des $CuFl_2$
Bogenspektrum des $CaCl_2$



Flammenspektrum des Zinns
Bogenflammenspektrum des Zinns
Bogenflammenspektrum der Kohle (ohn
Substanz) zeigt die Borbanden



Flammenspektrum des Bleis
Bogenflammenspektrum des Bleis
Bogenflammenspektrum der Kohle (ohn
Substanz)



Bogenflammenspektrum des Eisens
Bogenspektrum des Eisens

Heinrich Hertenstein.

Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig.